新冠疫情对全球生物多样性热点地区森林面积的影响

周帅*

（1. 山西省林业和草原科学研究院 太原 030012；2. 山西农业大学 山西 太谷 030800）

摘要：森林是维持生物多样性的重要保障，森林面积的损失常会导致区域生物多样性的降低或丧失。为探讨新冠疫情对全球生物多样性的影响，本研究以全球生物多样性热点地区的森林损失面积、生物多样性完整性数据、年度新冠疫情感染数据（2020 年和 2021 年）、国内生产总值（GDP）为研究对象，进行关联分析、线性混合效应模型构建和回归预测。研究结果表明，虽然新冠病毒的每百万人口感染数量与森林损失面积表现为显著负相关，具体表现为疫情显著减少了因城市和农业的大规模扩张导致的森林损失面积，但是在疫情爆发的 2 年间（2020 年和 2021 年），全球生物多样性热点地区的森林损失总量仍然持续上升，主要原因是疫情间接加速了人工林和天然林的采伐。回归模型预测：新冠疫情期间，全球生物多样性热点地区的森林损失面积在 2020 年和 2021 年分别增加了 5.83%和 21.78%。由此本研究发现，新冠疫情对生物多样性热点地区的森林损失具有一定的抑制作用，但森林损失面积仍在增加。

关键词：新冠疫情，生物多样性，森林，遥感，预测模型

中图分类号： **文献标识码：A** **文章编号：**

A global perspective on the influence of the COVID-19 pandemic on forest areas in biodiversity hotspots

ZHOU Shuai

(1. *Shanxi Academy of Forestry and Grassland Sciences*, Taiyuan 030012, China; 2. *Shanxi Agricultural University*, Taigu 030800, Shanxi, China)

Abstract: Forests play a crucial role in maintaining biodiversity, and their loss is often associated

基金项目:中央财政林业改革发展资金项目(SX202223145)。

第一作者：周帅（1987-），博士研究生，工程师，主要从事植物生理生态研究，(E-mail) zhoushuai87@foxmail.com。

with regional biodiversity decline or loss. Therefore, this study aimed to investigate the impact of the COVID-19 pandemic on global biodiversity by analyzing data on forest loss area, biodiversity integrity data, annual COVID-19 infection data (in 2020 and 2021), and Gross Domestic Product (GDP) in global biodiversity hotspots, using correlation analysis, linear mixed-effects model construction, and regression prediction. The results revealed although a significant negative correlation between the number of COVID-19 infections per million population and forest loss area, namely, the pandemic reduced forest loss due to large-scale urban and agricultural expansion, the total forest loss in global biodiversity hotspots continued to rise during the pandemic years (2020 and 2021), largely due to the indirect acceleration of logging activities in natural and artificial forests. The regression model predicted that the forest loss area in global biodiversity hotspots increased by 5.83% and 21.78% in 2020 and 2021, respectively, during the COVID-19 pandemic. Consequently, notwithstanding the COVID-19 pandemic's restraining effect on forest loss in biodiversity hotspots, the forest loss area still exhibits an upward trend.

Key words: COVID-19, biodiversity, forest, remote sensing, predictive model

生物多样性与动植物的生存环境密切相关(Vais et al., 2020)。近年来，由于栖息地的减少，全球生物多样性丧失日渐加剧，人类的生存环境因此受到威胁(Cardinale et al., 2012; Pereira et al., 2020)。研究显示，森林的生物多样性高于农田、城市、草原等区域，因此常将生物多样性热点地区的森林覆盖面积作为评价生物多样性破坏程度的重要指标(Gong et al., 2019; Marín et al., 2021)。

森林作为生物多样性的重要载体，其面积正在持续减少。来自 Global Forest Watch 网站（www.globalforestwatch.org）的报告显示，2019 年全球原生林面积减少了 2.8%(Chraibi et al., 2021)。究其原因，其一是人类活动，包括森林采伐、滥伐、农业用地侵占等，另外主要是火灾、病虫害等自然灾害的发生(Abd Latif et al., 2015; Rosa et al., 2021)。

新冠疫情一定程度影响了人类行为习惯和社会规则，例如办公场所、交通方式、消费习惯、贸易方式等的转变(Askitas et al., 2020; Baldwin ＆ Tomiura, 2020)，原因在于多国政府为了减缓病毒的传播，采取多种限制人们活动的措施。其中，“居家隔离”政策最为典型，这相当于在全球范围内进行了 1 次“人类禁闭试验”(Bates et al., 2020)。通过对这一“试验”数据的对比和分析，可以发现人类行为对生态系统的影响，并可以据此制定相应的生物多样

性保护措施。目前，已有研究利用民众上传到科学论坛的数据变化，评估疫情对区域生物多样性(Maria Sanchez-Clavijo et al., 2021)和淡水鱼类多样性的干扰程度(Cooke et al., 2021)。

针对新冠疫情对生物多样性的影响，部分学者持乐观态度(Sills et al., 2020; Zambrano-Monserrate et al., 2020)，但也有学者相对谨慎(Corlett et al., 2020)，也有研究发现疫情会加剧生物多样性减少(Pinder et al., 2020; Rahman et al., 2021)。从新冠疫情对森林影响的角度，Buongiorno (2021)利用GFPMX模型预测了疫情对林产品的影响；Sannigrahi等(2022)分析了森林火灾与新冠疫情的关联；Lugo-Robles 等(2021)评估了森林面积与疫情的关系，但目前尚无对全球范围内的森林覆盖面积进行的研究。基于森林面积与生物多样性的密切关系，和日趋成熟的森林面积遥感观测手段，本研究重点分析新冠疫情期间（2020 年和 2021 年，下同）的全球生物多样性热点地区的森林损失面积，以期解答下述研究问题：

1） 新冠疫情爆发前后，全球生物多样性热点地区的森林损失面积是否存在差异？

2） 如果存在差异，新冠疫情的严重程度与森林损失面积是否存在关联？

3） 如果存在关联，新冠疫情对森林损失面积的影响是多少？

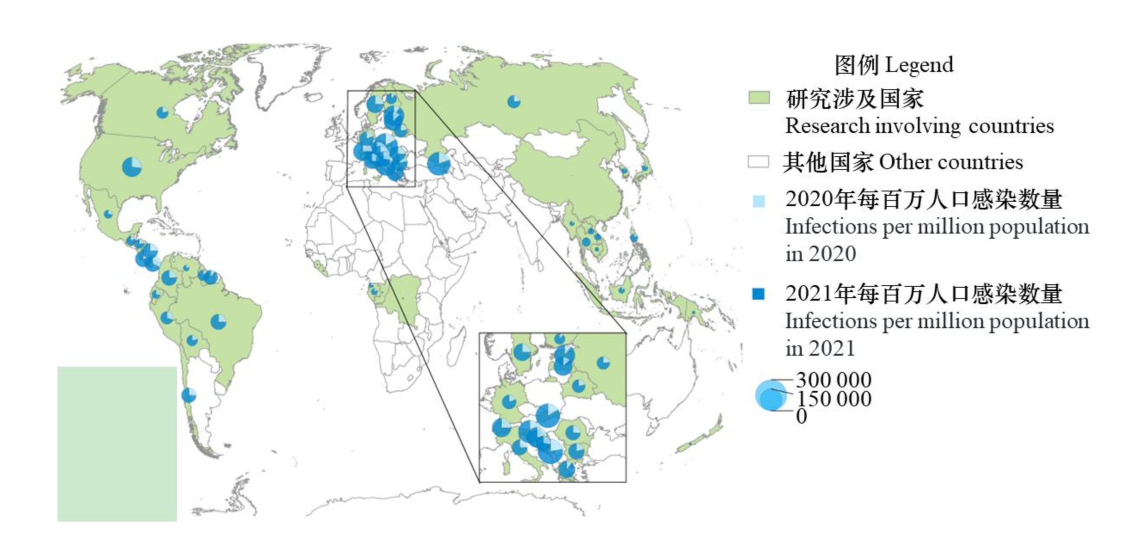
为解答上述研究问题，本研究以全球生物多样性完整性数据为依据，筛选出生物多样性热点地区占国土面积 60%以上的国家作为研究对象，然后利用基于遥感观测的 2001 年至 2021 年间的森林损失面积、2020 年和 2021 年的新冠疫情每百万人口感染数据、国内生产总值（GDP），进行相关性分析和预测，以期了解在全球生物多样性热点地区新冠疫情严重程度与森林损失面积的关联情况，为解答森林覆盖率与生物多样性之间的内在关联，并制定生物多样性的保护措施提供数据支撑。

1 研究数据与分析方法

1.1 研究数据获取

依据 Hill 等(2019)的研究结果，结合 Global Forest Watch 网站的“全球生物多样性完整性”数据，利用 ImageJ 软件筛选生物多样性热点地区占国土面积 60%以上的国家，作为研究对象（图 1）。利用 Global Forest Watch 网站的“森林覆盖减少”图层数据，以及森林减少原因数据，以国界为范围，提取研究对象的年度森林损失面积(Hansen et al., 2013)和 5 种原因（大规模农业扩张、中小规模农业占用、人工林和天然林采伐、森林火灾损失、城市扩张）导致的年度森林损失面积。在 Our World In Data 网站（www.ourworldindata.org）提取研究对象的新冠疫情数据，以研究对象在 2020 年 12 月 31 日和 2021 年 12 月 31 日的每百万病例累积量(Ritchie et al., 2020)，分别作为其 2020 年和 2021 年的单位感染人口数量数据（图 1）。在联合国网站

（www.un.org）获取研究对象在新冠疫情爆发前两年（2018 年和 2019 年），以及疫情期间的 GDP。Global Forest Watch 和 Our World In Data 网站的数据已被多项研究使用，具备高可信度(Curtis et al., 2018; Cook-Patton et al., 2020; Tegally et al., 2022)。



研究底图取自中国科学院地理科学与资源研究所的资源环境科学数据中心（https://www.resdc.cn/data.aspx?DATAID=205），底图无修改。

The study basemap is obtained from the Resource and Environmental Science and Data Centre of the Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS (https://www.resdc.cn/data.aspx?DATAID=205) and the basemap is unmodified.

图 1 全球生物多样性热点国家在 2020 年和 2021 年的新冠疫情感染情况

Fig. 1 COVID-19 pandemic in global biodiversity hotspot countries in 2020 and 2021

1.2 数据分析方法

在进行 2001 年至 2021 年，以及 2019 年至 2021 年研究对象的年度森林损失面积比较时，为了排除各国原有森林面积可能引起的差异，本研究分别对各研究对象在 2001 年至 2021 年，以及 2019 年至 2021 年的年度森林损失面积进行归一化处理。森林损失面积与单位感染人口数量的相关性分析采用 Spearman 检测方法。在构建线性混合效应模型时，为了使分析数据平衡，研究选取了疫情前期（2018 年和 2019 年）和疫情期（2020 年和 2021 年）的数据作为数据集。为了衡量疫情期间，研究对象经济实力对森林损失面积的潜在影响，研究引入了各国在研究期内的年度 GDP。线性混合效应模型以 GDP 和每百万病例累积量作为固定效应，国别和年度取样作为随机效应，分别对 5 种原因导致的森林损失面积建模。本研究首先基于模型拟合结果、新冠疫情严重程度与 GDP 的关联(Pardhan & Drydakis, 2021)、GDP 与森林损失面积

的关联(Wang et al., 2016)等因素，初步构建线性混合效应结构方程，然后依据卡方检验的显著性，对结构方程进行优化，最终确定新冠疫情严重程度对年度森林损失面积的影响模型。年度森林损失面积拟合采用公式（1）。数据统计分析采用 R 4.2.2(R Core Team, 2023)，其中线性混合模型主要采用“nlme”包，结构方程主要采用“piecewiseSEM”包，绘图采用 Origin 2019 和 QGIS 3.28.3。

$$y = y_0 + A[m_u \frac{2}{\pi} \frac{w}{4(x-x_c)^2+w^2} + (1-m_u)\frac{\sqrt{4\ln2}}{\sqrt{\pi}w} e^{-\frac{4\ln2}{w^2}(x-x_c)^2}] \quad (1)$$

式中：y 表示森林损失面积；x 表示年份；y0、A、m_u、x_c、w 为公式系数。

2 结果与分析

2.1 2001 年至 2021 年森林损失情况

本研究筛选出符合条件的国家 53 个。疫情爆发后的两年（2020 年和 2021 年），生物多样性热点地区整体的森林损失面积较 2019 年仍然持续增加，2020 年和 2021 年分别增加了 3.66%和 12.49%(图 2)。排除了国家间原有森林面积对结果造成的影响，各国 2020 年和 2021 年的平均森林损失面积呈下降趋势，表明国家间差异较大（图 3）。

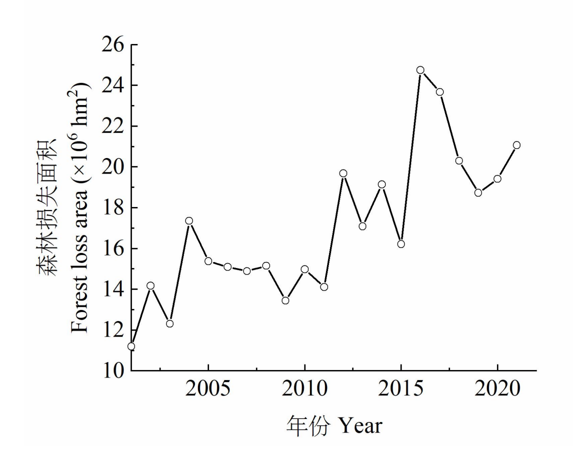
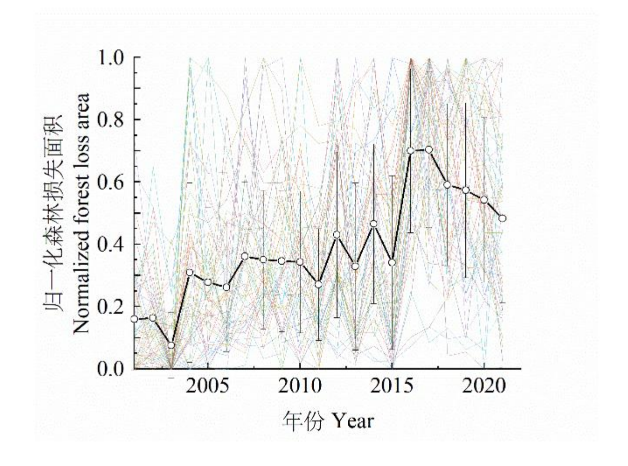


图 2 全球生物多样性热点国家在 2001 年至 2021 年的森林损失总面积

Fig. 2 Total area of forest loss in global biodiversity hotspot countries from 2001 to 2021



各国的森林损失面积为归一化后的数据，粗线表示平均值，细线表示各国数据。

The forest loss area of each country is the normalized data, with the thick line representing the average value and the thin line representing the data of each country.

图 3 全球生物多样性热点各国在 2001 年至 2021 年的森林损失归一化数据

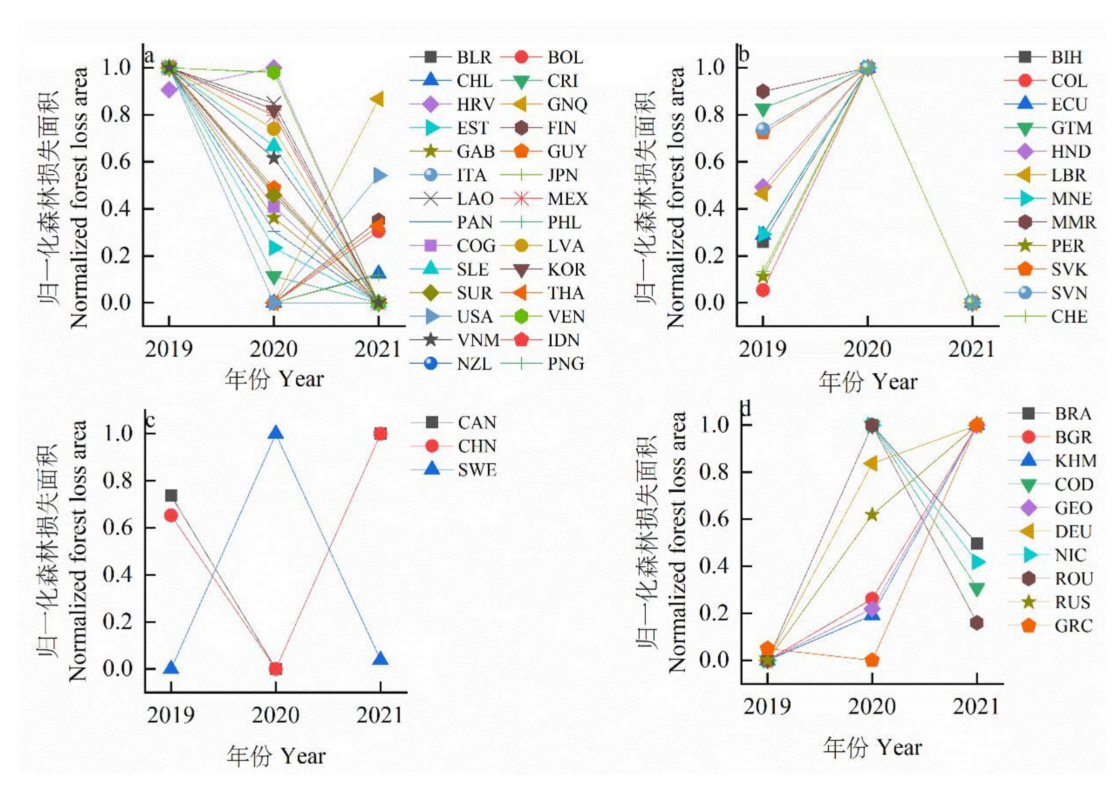
Fig. 3 Normalized forest loss data for countries in global biodiversity hotspots from 2001 to 2021

2.2 2019 年至 2021 年森林损失情况

图 4 展示了各国 2019 年疫情尚未大规模爆发时，以及疫情爆发后第 1 年（2020 年）和第 2 年（2021 年）的森林损失面积。53 个国家的森林损失变动情况可分为 4 类：第 1 类是下降型，即与 2019 年相比，2020 年和 2021 年的森林损失面积持续下降的国家（图 4:a），共计 28 个；第 2 类是先升后降型，即与 2019 年相比，森林损失面积在 2020 年上升而 2021 年下降的国家（图 4:b），共计 12 个；第 3 类是无变化型，即森林损失面积在疫情前后无明显变化趋势的国家（图 4:c），共计 3 个；第 4 类是上升型，即与 2019 年相比，2020 年和 2021 年的森林损失面积逐年增加的国家（图 4:d），共计 10 个。

对 4 类情况涉及的国家数量进行统计，可见疫情爆发的 2 年内，森林损失面积减少的国家占比达到 75.47%（下降型和先升后降型的国家数量之和），上升型的国家占比为 18.87%（图 5）。由此可知，新冠疫情爆发的两年内，在全球生物多样性热点地区，超过四分之三国家的森林损失面积下降，而接近五分之一国家的森林损失面积上升。

对 4 类情况各国的森林损失面积进行统计，可见疫情爆发的 2 年内，上升型国家的森林损失面积占比达到 53.82%，下降型和先升后降型国家则分别为 26.82%和 6.14%，合计达到 32.96%（图 6）。这些变化表明疫情期间，上升型国家对森林损失面积的贡献比例最高。



(1) 国名采用国际通用的 ISO 代码。**BLR**.白俄罗斯；**BOL**. 玻利维亚；**CHL**. 智利；**CRI**. 哥斯达黎加；**HRV**. 克罗地亚；**GNQ**. 赤道几内亚；**EST**. 爱沙尼亚；**FIN**. 芬兰；**GAB**. 加蓬；**GUY**. 圭亚那；**ITA**. 意大利；**JPN**. 日本；**LAO**. 老挝；**MEX**. 墨西哥；**PAN**. 巴拿马；**PHL**. 菲律宾；**COG**. 刚果；**LVA**. 拉脱维亚；**SLE**. 塞拉利昂；**KOR**. 韩国；**SUR**. 苏里南；**THA**. 泰国；**USA**. 美国；**VEN**. 委内瑞拉；**VNM**. 越南；**IDN**. 印度尼西亚；**NZL**. 新西兰；**PNG**. 巴布亚新几内亚；**BIH**. 波斯尼亚和黑塞哥维那；**COL**. 哥伦比亚；**ECU**. 厄瓜多尔；**GTM**. 危地马拉；**HND**. 洪都拉斯；**LBR**. 利比里亚；**MNE**. 黑山；**MMR**. 缅甸；**PER**. 秘鲁；**SVK**. 斯洛伐克共和国；**SVN**. 斯洛文尼亚；**CHE**. 瑞士；**CAN**. 加拿大；**CHN**. 中国；**SWE**. 瑞典；**BRA**. 巴西；**BGR**. 保加利亚；**KHM**. 柬埔寨；**COD**. 刚果；**GEO**. 格鲁吉亚；**DEU**. 德国；**NIC**. 尼加拉瓜；**ROU**. 罗马尼；**RUS**. 俄罗斯；**GRC**. 希腊。(2) **a**. 下降型，即与疫情开始前(2019年)相比，2020 年和 2021 年的森林损失面积持续下降的国家； **b**. 先升后降型，即 2020 年上升而 2021 年下降的国家； **c**. 无变化型，即无明显变化趋势的国家； **d**. 上升型，即森林损失面积逐年增加的国家。（3）各国的森林损失面积为归一化后的数据。

(1) The country name is ISO Country code. **BLR**. Belarus; **BOL**. Bolivia; **CHL**. Chile; **CRI**. Costa Rica; **HRV**. Croatia; **GNQ**. Equatorial Guinea; **EST**. Estonia; **FIN**. Finland; **GAB**. Gabon; **GUY**. Guyana; **ITA**. Italy; **JPN**. Japan; **LAO**. Lao P. D. R.; **MEX**. Mexico; **PAN**. Panama; **PHL**. Philippines; **COG**. Republic of Congo; **LVA**. Latvijas Republika; **SLE**. Sierra Leone; **KOR**. Korea; **SUR**. Suriname; **THA**. Thailand; **USA**. United States; **VEN**. Venezuela; **VNM**. Vietnam; **IDN**. Indonesia; **NZL**. New Zealand; **PNG**. Papua New Guinea; **BIH**. Bosnia and Herzegovina; **COL**. Colombia; **ECU**. Ecuador; **GTM**. Guatemala; **HND**. Honduras; **LBR**. Liberia; **MNE**. Montenegro; **MMR**. Myanmar PER. Peru; **SVK**. Slovak Republic; **SVN**. Slovenia; **CHE**. Switzerland; **CAN**. Canada; **CHN**. China; **SWE**. Sweden; **BRA**. Brazil; **BGR**. Bulgaria; **KHM**. Cambodia; **COD**. Democratic Republic of the Congo; **GEO**. Georgia; **DEU**. Germany; **NIC**. Nicaragua; **ROU**. Romania; **RUS**. Russia; **GRC**. Greece. (2) **a**. Descending type, that is, countries with sustained declines in forest loss in 2020 and 2021 compared to before the outbreak began (2019); **b**. Ascending then descending type, that is, rising countries in 2020 and falling countries in 2021; **c**. Invariant type, that is, countries with no significant trend of change; **d.** Ascending type, that is, countries where forest loss is increasing year by year. (3) Forest lost area for

each country is normalized data.

图 4 全球生物多样性热点地区的国家在 2019 年至 2021 年的森林损失面积标准化数据

Fig. 4 Normalized data on forest loss area for countries in global biodiversity hotspots from 2019 to 2021

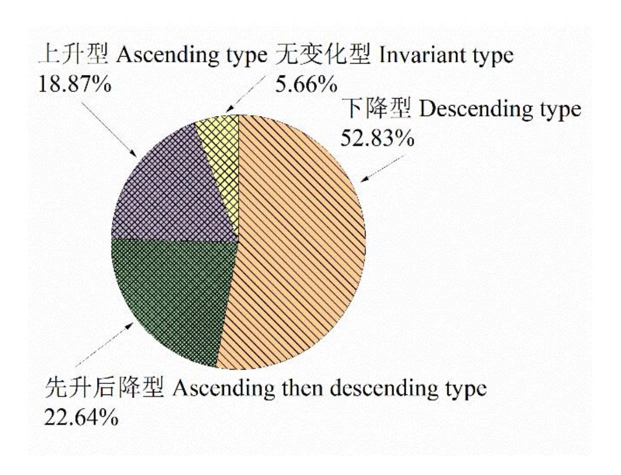


图 5 疫情爆发 2 年间 4 类森林损失面积变化类型的国家数量占比

Fig. 5 Proportion of the number of countries with four types of forest loss area types during the two years of the outbreak

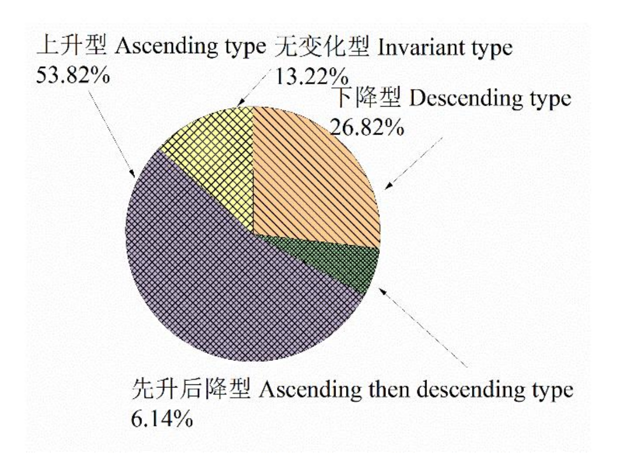


图 6 疫情爆发 2 年间 4 类森林损失面积变化类型的国家森林损失面积占比

Fig. 6 Proportion of the forest loss area of countries with four types of forest loss area types during the two years of the outbreak

2.3 疫情严重程度与森林损失面积的关联分析

研究分别以疫情爆发 2 年间、第 1 年、第 2 年的生物多样性热点国家的森林损失面积与单位感染人口数量（每百万人口感染数量）进行 Spearman 相关性分析（图 7），可知疫情爆发 2 年间（2020 至 2021 年），单位感染人口数量与森林损失面积呈极显著负相关。类似的，在疫情爆发第 1 年（2020 年），疫情严重程度就显示出与森林损失面积显著负相关。进入疫情爆发的第 2 年（2021 年），这一趋势愈加明显，相关系数从 2020 年的-0.36（$P<0.01$），

降低到-0.43（P<0.01）。

混合效应模型显示（表 1-2），疫情期间，单位感染人口数量与城市扩张导致的森林损失面积呈显著负相关，表明疫情越严重，城市扩张占用林地的面积就越小。表 1 和表 2 还显示，在疫情前后，城市扩张和商业采伐造成的森林面积减少均会受到 GDP 的显著影响。结构方程揭示了新冠疫情对森林损失的 4 条影响路径（图 8）：

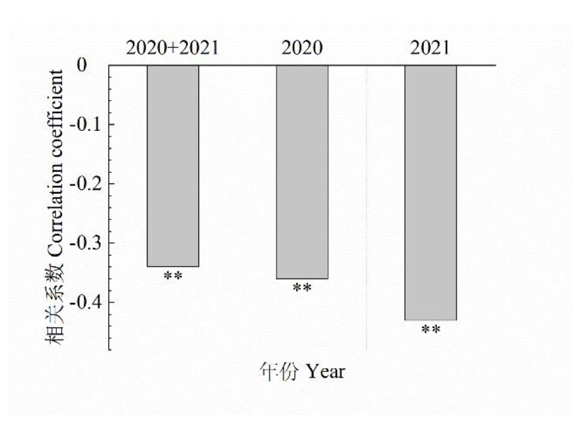
（1）每百万人口感染数量→城市扩张→森林损失;

（2）每百万人口感染数量→GDP→城市扩张→森林损失;

（3）每百万人口感染数量→GDP→大规模农业扩张→森林损失；

（4）每百万人口感染数量→GDP→人工林和天然林采伐→森林损失。

4 条路径中，新冠疫情的每百万人口感染数量对森林损失的标准化系数分别为-1.4×10^{-4}（=-0.07×0.002）、0.5×10^{-4}（=0.06×0.41×0.002）、-18.4×10^{-4} [=0.06×（-0.18）×0.17]、39.1×10^{-4}（=0.06×0.21×0.31），对森林损失的总体影响标准化系数为 19.8×10^{-4}。



**表示相关系数在 0.01 水平显著。

** indicates that the correlation coefficient is significant at the 0.01 level.

图 7 疫情爆发 2 年间生物多样性热点国家的森林损失面积与每百万人口感染数量的 Spearman 相关性系数

Fig. 7 Spearman's correlation coefficient between forest loss area and infections per million population in biodiversity hotspot countries during the two years of the outbreak

表 1 疫情爆发前生物多样性热点国家的森林损失面积与 GDP 的线性混合模型系数

Table 1 Coefficients of linear mixed models for forest loss area versus GDP for biodiversity hotspot countries before the outbreak

系数 Coefficient	中小规模农业占用 Small- and medium-scale agriculture occupancy	城市扩张 Urban expansion	大规模农业扩张 Large-scale agriculture expansion
截距 Intercept	**0.44**	-7.27×10^{-5}	**0.25**

GDP	**-7.30×10^{-6}**	**3.65×10^{-7}**	**-4.52×10^{-6}**
随机效应方差 Random effects variance	0.14	＜0.01	0.08
固定效应 R^2 Fixed effects R^2	0.12	0.27	0.08
R^2	0.99	0.91	0.99

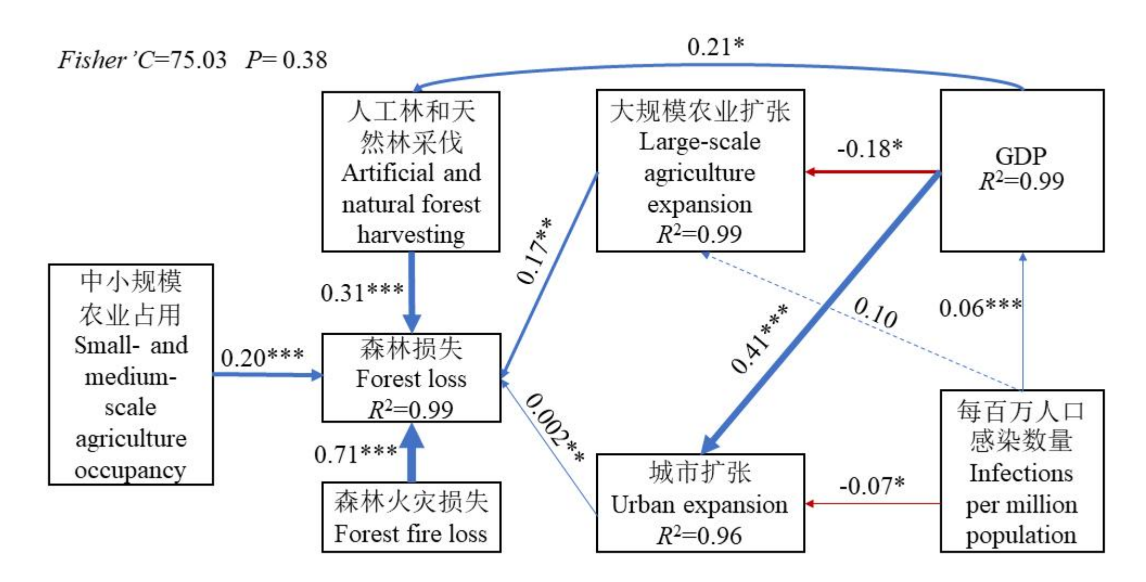
注：表中仅展示截距或斜率显著的模型系数，粗体代表在 0.05 水平显著相关，下同。

Note: Only model coefficients with significant intercepts or slopes are shown in the table，and bold represents a significant correlation at the 0.05 level, same below.

表 2 疫情爆发后生物多样性热点国家的森林损失面积与 GDP 和每百万人口感染数量的线性混合模型系数

Table 2 Coefficients of linear mixed models for forest loss area versus GDP and infections per million population for biodiversity hotspot countries after the outbreak

系数 Coefficient	中小规模农业占用 Small- and medium-scale agriculture occupancy	城市扩张 Urban expansion	大规模农业扩张 Large-scale agriculture expansion	人工林和天然林采伐 Artificial and natural forest harvesting
截距 Intercept	**0.34**	2.00×10^{-3}	**0.22**	**0.37**
GDP	-1.00×10^{-6}	**2.83×10^{-7}**	**-2.80×10^{-6}**	**9.10×10^{-6}**
每百万人口感染数量 Infections per million population	＜0.00×10^{-8}	**-1.56×10^{-8}**	-6.00×10^{-8}	＜0.00×10^{-8}
随机效应方差 Random effects variance	0.15	＜0.01	0.08	0.63
固定效应 R^2 Fixed effects R^2	0.02	0.17	0.03	0.05
R^2	0.99	0.96	0.99	0.99



（1）图 8 以疫情期（2020 年和 2021 年）的数据构建。（2）蓝线和红线分别表示正效应和负效应，实线表示效应达到显著水平，虚线表示效应未达到显著水平，*表示 P<0.05，***表示 P<0.001，R^2 表示单个变量的拟合程度。

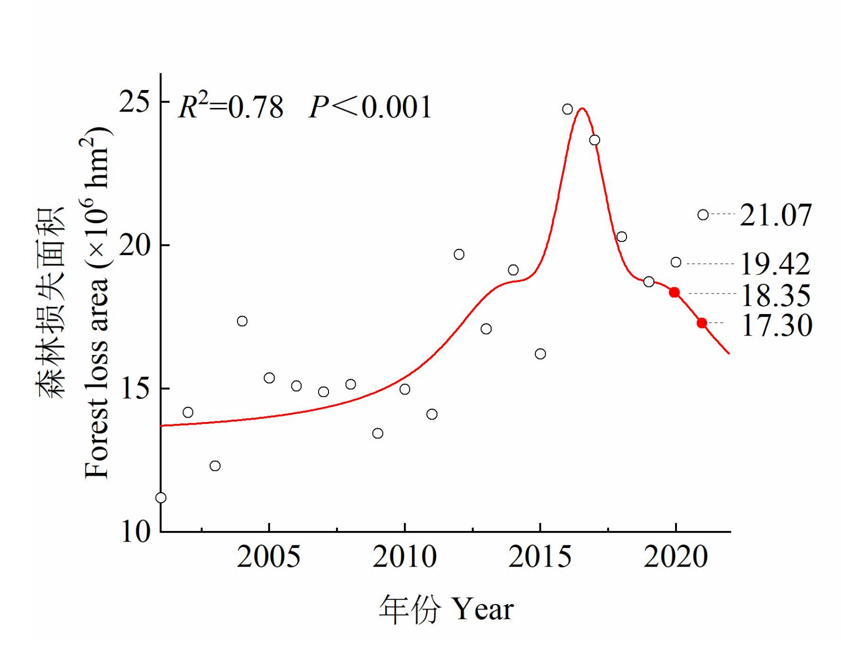
(1) Fig. 8 are constructed with data from the epidemic period (2020 and 2021). (2) The blue and red lines indicate positive and negative effects, respectively, the solid line indicates that the effect reached a significant level, the dashed line indicates that the effect did not reach a significant level, * indicates $P < 0.05$, *** indicates $P < 0.001$, and R^2 indicates the degree of individual variable fit.

图 8 疫情爆发后生物多样性热点国家的森林损失面积与 GDP 和每百万人口感染数量的结构方程模型

Fig. 8 Structural equation model of forest loss area versus GDP and infections per million population for biodiversity hotspot countries after the epidemic outbreak

2.4 疫情对森林损失面积影响的估计值

为定量研究新冠疫情对生物多样性热点地区森林损失的影响，研究采用 PsdVoigt1 公式拟合 2001 年至 2019 年间的森林损失总面积，再根据获得的模型预测如果疫情没有爆发，2020 年和 2021 年的生物多样性热点地区森林损失总面积。拟合结果显示，模型的决定系数 R^2 为 0.78（P<0.001）（图 9）。模型揭示，在疫情爆发后第 1 年，森林损失面积较预测值增加了 1 069 039.2 hm²，增加幅度为 5.83%；在疫情爆发后第 2 年，损失面积较预测值增加了 3 767 853.9 hm²，增加幅度为 21.78%。



红线表示基于 2001 年至 2019 年森林损失面积的拟合曲线，红色圆点表示预测的 2020 年和 2021 年的森林损失面积，空心圆点表示实测的各年森林损失面积，拟合公式为 Psd Voigt 1。

The red line represents the fitting curve based on the forest loss area from 2001 to 2019, the red dots represent the predicted forest loss in 2020 and 2021, and the hollow dots represent the measured forest loss in each year. The fitting formula is Psd Voigt 1.

图 9 2001 年至 2022 年生物多样性热点地区森林损失面积的拟合图

Fig. 9 Fitted plot of forest loss area in biodiversity hotspots from 2001 to 2022

3 讨论

新冠疫情爆发前，已有研究观察到人类经济活动与森林损失具有密切联系(Wang et al., 2016)，例如，商业开发导致全球 27%的林地被毁(Curtis et al., 2018)。本研究也发现了类似现象：新冠疫情爆发前，经济活动与城市扩张毁林和大规模农业开发毁林之间存在显著关联（表 1-2）；疫情爆发后，GDP 与城市扩张、大规模农业扩张，以及人工林和天然林采伐的关联仍然显著（表 2）。因此，疫情前后，人类经济活动始终对森林损失面积具有重要影响。

关于疫情与森林面积的关联，现有研究存在多种观点。在森林覆盖面积方面，Lugo-Robles 等(2021)发现森林面积与 WHO 公布的公共卫生事件爆发频繁显著正相关，并发现新冠病毒感染率与森林面积存在相似的联系，但 Li 等（2022）发现低收入国家森林覆盖率与新冠疫情致死率呈负相关。在森林损失面积方面，一些研究发现新冠疫情与毁林面积存在正相关关系(Brancalion et al., 2020; Rahman et al., 2021)，但也有研究观察到负相关关系(Yang et al., 2020)。研究涉及的时空尺度不一致可能是前述研究结论各异的原因，例如 Lugo-Robles 等(2021)和 Li 等（2022）均只考察了一段时期内的平均森林覆盖面积，而

Brancalion 等(2020)、Yang 等(2020)和 Rahman 等(2021)的研究区域只涉及部分国家或地区。

本研究发现，新冠疫情对森林损失面积的影响有 2 种表现：其一是新冠疫情导致毁林增加，有研究发现在热带地区实施封城措施仅 1 个月，毁林面积就达到了疫情发生前的 2 倍(Brancalion et al., 2020)，孟加拉国的研究同样发现类似现象(Rahman et al., 2021)。其二是新冠疫情抑制城市扩张，Yang 等(2020)也发现这一现象。对于导致第一种现象的原因，可能与新冠疫情对人类健康及医疗系统的冲击，以及各国为降低感染率而实行的各类隔离政策有关(Askitas et al., 2020; Baldwin & Tomiura, 2020)。例如，人类因实施疫情防护与隔离政策增加了林产品的需求，导致大量的人工林和天然林被采伐。而第二种现象产生的原因，可能源于各国实施的居家隔离政策抑制了经济发展，进而限制了城市扩张和农业大规模开发，加之野生动物交易的减少，森林以及其附属的生物多样性得到了保护(Gibbons et al., 2022)。

在新冠疫情期间，只有 10 个国家的森林损失面积持续增加，但他们的森林损失面积却占到总森林损失面积的 53.82%，因此导致图 5 与图 6 展示了相矛盾的变化趋势。这种现象可能与各国原有的森林覆盖面积差异较大有关，也可能因为各国的防疫政策不同，以及随机事件的发生有关。例如，疫情期间印尼的森林砍伐放缓是由于油棕扩张放缓和油价下跌引起的(Gaveau et al., 2022)。

目前，利用遥感技术获取大尺度的森林损失面积的方法已经较为成熟(Hill et al., 2019)，例如 Global Forest Watch 据此计算了全球森林损失面积(Bovolo & Donoghue, 2017)。但也有研究发现，遥感产品的分辨率不同，以及不同类型的地面干扰情况，均会影响森林覆盖面积的计算，可能导致森林损失面积的空间范围和变化时间出现估计偏差(Milodowski et al., 2017)。因此，今后的研究还需要引入不同来源的观测数据，以提高研究精度。此外，还可以将各国的防疫政策、人类行为变化、突发森林灾害等因素纳入研究疫情影响的模型，以提高模型的估算准确度。本研究采用模型预测的方法评估新冠疫情对森林损失面积的影响，这种方法得到的结果可能掺杂了其他因素的影响作用，增大疫情的效应值。但鉴于本研究采用的分析数据和统计方法具有较高的可信度和准确性，研究结果仍然支持下述推论，即采取与“人类禁闭实验”类似的措施可以抑制人类活动，以减少森林面积流失，但由于复杂网络关系的存在，这一措施可能诱发森林面积发生更大规模的损失，反而降低区域的生物多样性。

4 结论

本研究涉及的国家共计 53 个，与新冠疫情爆发前相比，疫情爆发后的两年（2020 年和 2021 年），各国的森林平均损失面积持续降低，但总损失面积持续增加，主要因为五分之一

森林损失面积持续增加的国家的损失面积占总损失量的 53.82%。新冠病毒单位感染人口数量与森林损失面积呈极显著负相关，其中新冠疫情对由于城市扩张导致的森林损失有显著负效应。新冠疫情对森林损失的影响存在 4 条路径，总影响程度与疫情期间由于城市扩张导致的森林面积减少的程度相当。基于 2001 年至 2019 年的森林损失面积建立的回归模型显示，新冠疫情期间，2020 年和 2021 年的森林损失总量分别比预测值增加了 5.83%和 21.78%。研究结果表明，新冠疫情对全球生物多样性热点地区的森林损失面积存在影响，抑制了一部分人类活动对森林的破坏，但仍然通过复杂网络关系增加了森林的损失面积。

参考文献

ABD LATIF Z, ZAQWAN HM, SAUFI M, et al., 2015. Deforestation and carbon loss estimation at tropical forest using multispectral remote sensing: case study of *Besul Tambahan* permanent forest reserve [C]. 4th International Conference on Space Science and Communication (IconSpace). Langkawi, MALAYSIA, 2015: 348-351.

ASKITAS N, TATSIRAMOS K, VERHEYDEN B, 2020. Lockdown strategies, mobility patterns and covid-19 [J]. Covid Econ, 23: 263-302.

BALDWIN R, TOMIURA E, 2020. Thinking ahead about the trade impact of COVID-19 [J]. Econ Time COVID-19, 59: 59-71.

BATES AE, PRIMACK RB, MORAGA P, et al., 2020. COVID-19 pandemic and associated lockdown as a "Global Human Confinement Experiment" to investigate biodiversity conservation [J]. Biol Conserv, 248: 108665.

BOVOLO CI, DONOGHUE D NM, 2017. Has regional forest loss been underestimated? [J]. Environ Res Lett. 12(11): 111003.

BRANCALION PHS, BROADBENT EN, DE-MIGUEL S, et al., 2020. Emerging threats linking tropical deforestation and the COVID-19 pandemic [J]. Perspect Ecol Conserv, 18(4): 243-246.

BUONGIORNO J, 2021. GFPMX: A cobweb model of the global forest sector, with an application to the impact of the COVID-19 pandemic [J]. Sustain, 13(10): 5507.

CARDINALE BJ, DUFFY JE, GONZALEZ A, et al., 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity [J]. Nature, 486(7401): 59-67.

CHRAIBI E, ARNOLD H, LUQUE S, et al., 2021. A remote sensing approach to understanding patterns of secondary succession in tropical forest [J]. Rem Sen, 13(11): 2148.

COOK-PATTON SC, LEAVITT SM, GIBBS D, et al., 2020. Mapping carbon accumulation potential from global natural forest regrowth [J]. Nature, 585(7826): 545-550.

COOKE SJ, TWARDEK WM, LYNCH AJ, et al., 2021. A global perspective on the influence of the COVID-19 pandemic on freshwater fish biodiversity [J]. Biol Conserv, 253(2021): 108932.

CORLETT RT, PRIMACK RB, DEVICTOR V, et al., 2020. Impacts of the coronavirus pandemic on biodiversity conservation [J]. Biol Conserv, 246(2020): 108571.

CURTIS PG, SLAY CM, HARRIS NL, et al., 2018. Classifying drivers of global forest loss [J]. Science, 361(6407): 1108-1111.

GAVEAU D LA, LOCATELLI B, SALIM MA, et al., 2022. Slowing deforestation in Indonesia follows declining oil palm expansion and lower oil prices [J]. Plos One, 17(3): e0266178.

GIBBONS DW, SANDBROOK C, SUTHERLAND WJ, et al., 2022. The relative importance of

COVID-19 pandemic impacts on biodiversity conservation globally [J]. Biol Conserv, 36(1): e13781.
GONG J, XIE Y, CAO E, et al., 2019. Integration of inVEST-habitat quality model with landscape pattern indexes to assess mountain plant biodiversity change: a case study of Bailongjiang watershed in Gansu Province [J]. J Geogr Sci, 29(2019): 1193-1210.
HANSEN MC, POTAPOV PV, MOORE R, et al., 2013. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change [J]. Science, 342(6160): 850-853.
HILL SL, ARNELL A, MANEY C, et al., 2019. Measuring forest biodiversity status and changes globally [J]. Front For Glob Chang, 2: 70.
LI H, ZHANG G, CAO Y., 2022. Forest area, CO_2 Emission, and COVID-19 case-fatality rate: a worldwide ecological study using spatial regression analysis [J]. Forests, 13(5): 736.
LUGO-ROBLES R, GARGES EC, OLSEN CH, et al., 2021. Identifying nontraditional epidemic disease risk factors associated with major health events from world health organization and world bank open data [J]. Amer J Trop Med Hyg, 105(4): 896-902.
MARIA SANCHEZ-CLAVIJO L, JINETH MARTINEZ-CALLEJAS S, ACEVEDO-CHARRY O, et al., 2021. Differential reporting of biodiversity in two citizen science platforms during COVID-19 lockdown in Colombia [J]. Biol Conserv, 256: 109077.
MARíN AI, ABDUL MD, BASTRUP-BIRK A, et al., 2021. Mapping forest condition in Europe: methodological developments in support to forest biodiversity assessments [J]. Ecol Indic, 128: 107839.
MILODOWSKI D, MITCHARD E, WILLIAMS M, 2017. Forest loss maps from regional satellite monitoring systematically underestimate deforestation in two rapidly changing parts of the Amazon [J]. Environ Res Lett, 12(9): 094003.
PARDHAN S, DRYDAKIS N, 2021. Associating the change in new COVID-19 cases to GDP per capita in 38 european countries in the first wave of the pandemic [J]. Front Public Health, 8 (2021): 582140.
PEREIRA HM, ROSA IM, MARTINS IS, et al., 2020. Global trends in biodiversity and ecosystem services from 1900 to 2050 [J]. bioRxiv, 2020: 2020.04. 14.031716.
PINDER AC, RAGHAVAN R, BRITTON JR, et al., 2020. COVID-19 and biodiversity: the paradox of cleaner rivers and elevated extinction risk to iconic fish species [J]. Aquat Conserv, 30(6): 1061-1062.
RAHMAN MS, ALAM MA, SALEKIN S, et al., 2021. The COVID-19 pandemic: a threat to forest and wildlife conservation in Bangladesh? [J]. Trees, Forests and People, 5: 100119.
RITCHIE H, MATHIEU E, RODéS-GUIRAO L, et al., 2020. Coronavirus pandemic (COVID-19) [DB/OL]. Our world in data.
ROSA MR, BRANCALION PH, CROUZEILLES R, et al., 2021. Hidden destruction of older forests threatens Brazil's Atlantic Forest and challenges restoration programs [J]. Sci Adv, 7(4): eabc4547.
SANNIGRAHI S, PILLA F, MAITI A, et al., 2022. Examining the status of forest fire emission in 2020 and its connection to COVID-19 incidents in West Coast regions of the United States [J]. Environ Res, 210: 112818.
SILLS J, PEARSON RM, SIEVERS M, et al., 2020. COVID-19 recovery can benefit biodiversity [J]. Science, 368(6493): 838-839.
TEAM RC 2023. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
TEGALLY H, SAN JE, COTTEN M, et al., 2022. The evolving SARS-CoV-2 epidemic in Africa: Insights from rapidly expanding genomic surveillance [J]. Science, 378(6615): eabq5358.

VAIS AA, VARAKSIN GS, NEZAMOV VI, et al., 2020. Assessment of key habitats of suburban forests in Krasnoyarsk[C]. 3rd International Conference on Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies (AGRITECH). Krasnoyarsk, RUSSIA, 202010.1088/1755-1315/548/7/072008.

WANG JY, XIN LJ, TAN MH, et al., 2016. Spatial heterogeneity in Chinese forest area change in the Early 21st Century [J]. Forests, 7(10): 232.

YANG W, WANG X, ZHANG K, et al., 2020. COVID-19, urbanization pattern and economic recovery: an analysis of Hubei, China [J]. Int J Environ Res Public Health, 17(24): 9577.

ZAMBRANO-MONSERRATE MA, RUANO MA, SANCHEZ-ALCALDE L, 2020. Indirect effects of COVID-19 on the environment [J]. Sci Tot Env, 728(2020): 138813.